

This Page Is Inserted by IFW Operations  
and is not a part of the Official Record

## **BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images may include (but are not limited to):

- BLACK BORDERS
- TEXT CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- FADED TEXT
- ILLEGIBLE TEXT
- SKEWED/SLANTED IMAGES
- COLORED PHOTOS
- BLACK OR VERY BLACK AND WHITE DARK PHOTOS
- GRAY SCALE DOCUMENTS

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning documents *will not* correct images,  
please do not report the images to the  
Image Problem Mailbox.**

TITLE: Forming trenches in single crystal silicon® wafers - includes forming etching mask contg. parallelogram shaped window on (110) wafer face, anisotropically etching, etc.

INVENTOR: GRUENING, H; LINDER, S ; VOBORIL, J

PRIORITY-DATA: 1990DE-4037202 (November 22, 1990)

PATENT-FAMILY:

PUB-NO/	PUB-DATE	LANGUAGE	PAGES	MAIN-IPC
DE 4037202 A	May 27, 1992		014.	H01L021/308

INT-CL (IPC): C30B 33/08; H01L 21/28; H01L 21/308

ABSTRACTED-PUB-NO: DE 4037202A

BASIC-ABSTRACT:

Trenches in a single crystalline Si wafer with a (110) surface lane are formed using a masking layer featuring openings in the shape of a parallelogram with angles which are not 90 deg., and etched with an anisotropic process. The trench formed has at least one vertical and at least one sloping (6.1,6.2..) wall. The mask window has been aligned pref. with the long sides, which must form vertical sides, parallel to an intersection of the (110) plane with one of the 4 planes (1-11), (-11-1), (-111) or (1-1-1). The edges of the parallelogram which must form sloping walls, pref. the short sides, must be parallel to intersections of the (110) plane and the (111) or (11-1) planes. The etchant used is pref. 6-9 mole/l. of KOH at pref. 90 deg.C at which the etch rate ratio of 110 to 311 is as small as possible.

The process also requires overhanging mask edges which are obtained by isotropic etching before the anisotropic etching is carried out. The parallelogram pref. has long sides which correspond with vertical walls and short sides corresp. with the sloping walls.

USE/ADVANTAGE - The etching process is simple and reproducible. It produces vertical walls without excessive facets at the bottom of the trench. The etched surfaces are free of contamination and relatively few crystal defects are generated. The under cutting and trench dimensions have small tolerances. The process is used in the mfr. of GTO thyristors and/or field controlled thyristors.



19 BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENTAMT

12 Offenlegungsschrift  
10 DE 40 37 202 A 1

51 Int. Cl.<sup>5</sup>:  
H 01 L 21/308  
H 01 L 21/28  
C 30 B 33/08  
// H 01 L 29/743, C 30 B  
29/06

DE 40 37 202 A 1

21 Aktenzeichen: P 40 37 202.2  
22 Anmeldetag: 22. 11. 90  
43 Offenlegungstag: 27. 5. 92

71 Anmelder:

Asea Brown Boveri AG, Baden, Aargau, CH

74 Vertreter:

Rupprecht, K., Dipl.-Ing., Pat.-Anw., 6242 Kronberg

72 Erfinder:

Grüning, Horst, Dr., Wettingen, CH; Linder, Stefan,  
Zofingen, CH; Voboril, Jan, Nussbaumen, CH

56 Für die Beurteilung der Patentfähigkeit  
in Betracht zu ziehende Druckschriften:

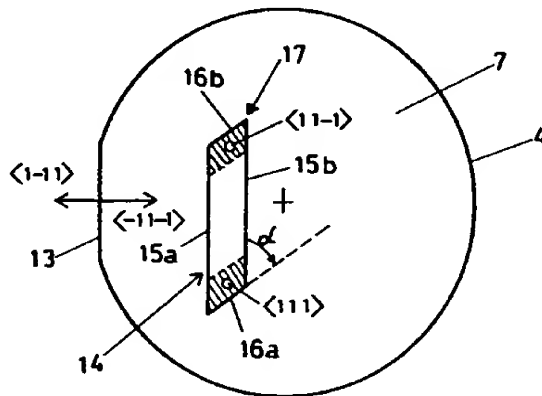
DE 35 26 951 A1  
US 49 38 841  
US 35 79 057  
EP 01 81 188 A2

ADE, R.W.;  
FOSSUM, E.R.: Limitations of Orientation Dependent  
Microstructure Etching in Silicon. In:  
J. Electrochem. Soc: SOLID STATE SCIENCE AND

TECHNOLOGY, Bd. 134, Nr. 12, Dez. 1987,  
S. 3192-3194;  
AMMAR, Elie S.;  
RODGERS, T.J.: UMOS Transistors on (110) Silicon.  
In: IEEE Transactions on Electron Devices, Vol. ED-27,  
No. 5, May 1980, S. 907-914;  
KENDALL, Don L.;  
DE GUEL, G.R.: ORIENTATIONS OF THE THIRD  
KIND: the coming of age of (110) SILICON in:  
Micromachining and Micropacking of  
Transducers Ed. by CD Fung et al.: Elsevier Science  
Publishers B.V. Amsterdam, 1985, S. 107-124;  
SPIERINGS, G.A.C.M.;  
et al.: ANISOTROPIC (211) SILICON WAFER  
ETCHING FOR BLAZED GRATINGS. In: Philips  
Journal of Research, Vol. 44, No. 4, 1989, S. 407-415;

54 Verfahren zum Herstellen von Gräben in einem einkristallinen Siliziumkörper

- 57 Bei einem Verfahren zum Herstellen von Gräben in einem einkristallinen Si-Körper (4) wird auf einer  $\langle 110 \rangle$  Oberfläche des Si-Körpers (4) eine Ätzmaske mit mindestens einem Maskenfenster (14) aufgebracht. Mit einem anisotropen Ätzprozeß wird sodann ein Graben mit mindestens einer vertikalen und mindestens einer nicht vertikalen, schiefen Wand geätzt. Das Maskenfenster (14) hat die Form eines nicht rechtwinkligen Parallelogramms. Vorzugsweise ist das Maskenfenster (14) mit dem Seitenpaar des Parallelogramms, das zu vertikalen Wänden führen soll, parallel zu einer Schnittgeraden ausgerichtet, die zwischen der  $\langle 110 \rangle$ -Ebene und einer der vier Ebenen  $\langle 1-11 \rangle$ ,  $\langle -11-1 \rangle$ ,  $\langle -111 \rangle$  oder  $\langle 1-1-1 \rangle$  gebildet wird. Das Seitenpaar des Parallelogramms, das zu nicht vertikalen Wänden führen soll, wird parallel zu einer Schnittgeraden ausgerichtet, die zwischen der  $\langle 111 \rangle$ -Ebene und der  $\langle 11-1 \rangle$ -Ebenen gebildet wird.



DE 40 37 202 A 1

## Beschreibung

## Technisches Gebiet

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Herstellen von Gräben in einem einkristallinen Si-Körper, wobei auf einer  $\langle 110 \rangle$  Oberfläche des Si-Körpers eine Ätzmaske mit mindestens einem Maskenfenster aufgebracht wird und mit einem anisotropen Ätzprozeß ein Graben mit mindestens einer vertikalen und mindestens einer nicht vertikalen, schiefen Wand geätzt wird.

## Stand der Technik

Abschaltbare Halbleiterbauelemente hoher Leistung — wie z. B. der GTO oder der von Horst Grüning et al. entwickelte FCTh (Field Controlled Thyristor) — setzen sich in der Regel aus vielen, kleinen, auf einem einzigen Halbleitersubstrat angeordneten, parallelen Schaltzellen zusammen.

Bei der Herstellung von feinstrukturierten Halbleiterbauelementen kommt der Ätztechnik eine zentrale Bedeutung zu. Sie ist mitbestimmend für die Qualität des Bauelementes, da sich verhältnismäßig kleine Fehler bei der Herstellung der einzelnen Schaltzellen eines Leistungselementes durch die Parallelschaltung aller Schaltzellen auf das Schaltverhalten des ganzen Bauelementes u. U. fatal auswirken können (insbesondere beim GTO).

Die Ätzprozesse sind geprägt von der Kristallographie des zu behandelnden Halbleiters und von der Ätzmischung. Die beim Ätzen ablaufenden physikalischen Prozesse sind z. T. bis heute noch nicht geklärt, so daß wichtige praktische Erkenntnisse in der Regel mit langwierigen Experimenten erarbeitet werden müssen.

Aus der veröffentlichten Patentanmeldung EP-02 43 684 A1, welche unter anderem auch ein Verfahren der eingangs genannten Art offenbart, ist ein FCTh mit einem speziellen Steuerkopf bekannt. Dieser zeichnet sich durch eine sehr feine Gate-Kathoden-Struktur aus. Die Grundlage bildet die Technik, die kathodenseitige Hauptfläche des Wafers nur im Bereich des Steuerkopfs mit dünnen Schlitzen für das Gate zu versehen. Bis auf die Schlitze ist dadurch die Hauptfläche planar und zwar auf der Ebene der Kathoden- und nicht der Gatekontakte. Im Gegensatz dazu wird bei den herkömmlichen Bauelementen die kathodenseitige Hauptfläche im wesentlichen durch die Gateebene gebildet. Die Kathode ist auf mesaförmigen Erhebungen (Kathodenfingern) angeordnet.

Die Gatekontaktierung muß beim neuartigen Steuerkopf auf dem Boden der schmalen Schlitze erfolgen und auf die höher liegende Kathodenebene gezogen werden. Gemäß einer vorteilhaften Ausführungsform (Fig. 4 der EP-02 43 684 A1) werden die Schlitze am Ende mit nicht vertikalen Wänden (Rampen) versehen, so daß es möglich wird, eine zuverlässige, bruchfreie Metallisierung zwischen den Böden und der Kathodenebene zu ziehen.

Es hat sich nun gezeigt, daß es mit dem Herstellungsverfahren gemäß diesem Stand der Technik nicht möglich ist, die Gategräben in der dort geforderten Form herzustellen. Ein erstes Problem besteht darin, daß beim Ätzen der schmalen Gräben am schmalseitigen Grabenende ein unerwünschtes Unterätzen auftritt. Die Form des Grabens stimmt infolgedessen nicht mehr mit der Maskenform überein. Ein weiteres Problem stellt die

Tatsache dar, daß die Rampe nicht gleichmäßig und stufenlos in die Kathodenebene übergeht. Vielmehr existiert eine Stufe, deren Überwindung mit einer Metallisierung kritisch ist. Schließlich ist der Grabenboden nicht flach, sondern mit kleinen, störenden Erhebungen besetzt und hat im Querschnitt Facetten am Rand.

Ebenfalls mit der Herstellung von Gategräben befaßt sich die EP-03 27 802 A1. Ein wichtiger Aspekt bei dem dort beschriebenen Verfahren ist die über die Grabenränder überhängende Ätzmaske, welche bei nachfolgenden Prozeßschritten verwendet wird (selbstjustierende Prozesse). Da es bei sehr feinen Grabenstrukturen aus praktischen Gründen nicht möglich ist, Kathodenfinger resp. Gräben photolithographisch erneut zu maskieren, ist es wichtig, daß die Grabenätzung kompatibel mit der selbstjustierenden Technik ist.

## Darstellung der Erfindung

Aufgabe der Erfindung ist es, ein Verfahren der eingangs genannten Art anzugeben, welches die beim Stand der Technik vorhandenen Probleme vermeidet und kompatibel mit den bekannten Dotierungs- und Kontaktierungsprozessen ist.

Erfindungsgemäß besteht die Lösung darin, daß bei einem Verfahren der eingangs genannten Art das Maskenfenster die Form eines nicht rechtwinkligen Parallelogramms hat.

Der Kern der Erfindung besteht darin, daß die Maske in Form und Orientierung an die kristallographischen Gegebenheiten des Siliziums so angepaßt wird, daß der anisotrope Ätzprozeß möglichst nur entlang der präferentiellen Ätzebenen zu wirken braucht, um die gewünschte Struktur zu erzeugen. Die laterale Begrenzung des Grabens ist ausschließlich durch ätzresistente Ebenen im Kristall gegeben. Allein der Boden ist durch eine instabile Ebene gegeben.

Um eine saubere vertikale Wand zu erzeugen, empfiehlt es sich, das Maskenfenster mit dem Seitenpaar des Parallelogramms, das zu vertikalen Wänden führen soll, parallel zu einer Schnittgeraden auszurichten, die zwischen der  $\langle 110 \rangle$ -Ebene und einer der vier Ebenen  $\langle 1-11 \rangle$ ,  $\langle -11-1 \rangle$ ,  $\langle -111 \rangle$  oder  $\langle 1-1-1 \rangle$  gebildet wird.

Besonders vorteilhaft ist es, wenn außerdem das Maskenfenster mit dem Seitenpaar des Parallelogramms, das zu nicht vertikalen, geneigten Wänden führen soll, parallel zu einer Schnittgeraden ausgerichtet ist, die zwischen der  $\langle 110 \rangle$ -Ebene und der  $\langle 11-1 \rangle$ -Ebenen gebildet wird. Mit dieser Maßnahme wird das Unterätzen der Maske am Grabenende vermieden und eine auf ganzer Breite der Schmalseite stufenlos ausgebildete Rampe erzeugt. Dies ist vor allem im Hinblick auf eine aufzubringende Metallisierung von Bedeutung: Da die Rampe einen Neigungswinkel in der Größenordnung von  $35^\circ$  hat, ist es unproblematisch, eine zuverlässige Verbindung zwischen Grabenboden und Kathodenebene zu schaffen.

Um einen Graben in Form eines langen tiefen Schlitzes zu erzeugen, ist das Maskenfenster so auszurichten, daß das lange Seitenpaar des Parallelogramms zu vertikalen und das kurze Seitenpaar zu nicht vertikalen Wänden führt. Der Graben hat dann ein U-förmiges Profil (d. h. zwei vertikale lange Seitenwände und ein flacher Boden) und nur am Ende eine  $35^\circ$  Rampe. Solche Grabenformen eignen sich insbesondere für FCThs und feinstrukturierte GTOs.

Zum Erzeugen eines möglichst optimalen U-förmigen Profils wird zum anisotropen Ätzen eine wäßrige KOH-

Lösung mit kleinstmöglichem  $\langle 110 \rangle : \langle 311 \rangle$ -Ätzratenverhältnis verwendet. Besonders bewährt haben sich eine 8 Mol/Liter KOH-Lösung, welche bei vorzugsweise 90°C Ätzbadtemperatur auf den Si-Körper einwirkt.

Für das eigentliche Ätzen der Gräben werden zwei bevorzugte Ausführungsformen angegeben. Beide haben zum Ziel, daß nach dem Ätzen der Gräben eine auf der Kathodenebene angeordnete überhängende Maske zurückbleibt. Diese Maske kann insbesondere beim nachfolgenden Dotieren und Metallisieren der Gräben eine wichtige Funktion übernehmen.

Entsprechend der ersten Ausführungsform wird zu diesem Zweck vor der anisotropen Ätzung eine isotrope Unterätzung der Ätzmaske durchgeführt. Das Unterätzen läßt sich gut kontrollieren, wenn die Ätzlösung nicht zu schnell arbeitet. Die nachfolgende anisotrope Ätzung wird automatisch wieder vertikale Seitenwände erzeugen.

Die zweite Ausführungsform, die eine optimale Fertigungspräzision ermöglicht, zeichnet sich durch folgende Schritte aus:

- a) Auf die Ätzmaske wird eine zweite Maske aufgebracht;
- b) die zweite Maske wird mit einer geeigneten Maskenöffnung versehen;
- c) durch die Maskenöffnung wird das Maskenfenster der Ätzmaske so erzeugt, daß die zweite Maske bezüglich des Maskenfensters überhängend ist; und
- d) dann wird die anisotrope Ätzung der Gräben durchgeführt.

Für die Ätzmaske kann  $\text{SiO}_2$  oder Nitrid verwendet werden. Beim Doppelmaskenverfahren ist die obere Maske z. B. Nitrid und die untere  $\text{SiO}_2$ .

Bei der Herstellung von feinen Gatestrukturen empfiehlt es sich, einen Überhang der Maske von 0,5–5 µm, vorzugsweise von 2 µm, zu erzeugen. Dies gewährleistet eine gute Kontrolle des Abschattungseffektes bei nachfolgenden, selbstjustierenden Implantations- und Metallisierungsschritten.

Das erfindungsgemäße Verfahren ist zugeschnitten auf die Herstellung von FCThs. Die auf diese Art hergestellten Bauelemente zeichnen sich dadurch aus, daß die Gategräben lange dünne Schlitze sind, die zwei lange vertikale und zwei kurze nicht vertikale Wände haben, und daß die Kanten, die von der Kathodenfläche mit je einer der vier Wände gebildet werden, ein nicht rechtwinkliges Parallelogramm bilden.

Aus der Gesamtheit der Merkmale der abhängigen Patentansprüche ergeben sich weitere vorteilhafte Ausführungsformen.

#### Kurze Beschreibung der Zeichnungen

Nachfolgend soll die Erfindung anhand von Ausführungsbeispielen und im Zusammenhang mit den Zeichnungen näher erläutert werden. Es zeigen:

Fig. 1a, b eine schematische resp. perspektivische Darstellung der Gräben wie sie beim Stand der Technik erzeugt werden;

Fig. 2a, b die Form und Orientierung der optimalen Maske;

Fig. 3 eine Darstellung der erfindungswesentlichen Kristallrichtungen in der stereographischen  $\langle 110 \rangle$  Projektion eines flächenzentrierten kubischen Kristalls;

Fig. 4 die Form eines erfindungsgemäßen Grabens;

Fig. 5a–d Prozeßschritte für die Erzeugung einer überhängenden Maske mittels isotroper Unterätzung;

Fig. 6a–d Prozeßschritte für die Erzeugung einer überhängenden Maske mittels Doppelmaske;

Fig. 7 eine schematische Darstellung eines Fingers eines FCThs; und

Fig. 8 eine perspektivische Darstellung eines Ausschnitts aus einem FCTh.

Die in den Zeichnungen verwendeten Bezugszeichen und deren Bedeutung sind in der Bezeichnungsliste zusammenfassend aufgelistet. Grundsätzlich sind in den Figuren gleiche Teile mit gleichen Bezugszeichen versehen.

#### Wege zur Ausführung der Erfindung

Um die Verbesserung, die die Erfindung mit sich bringt, besser verständlich zu machen, soll zunächst nochmals auf den Stand der Technik eingegangen werden, insbesondere auf die Probleme, die in Realität vorhanden sind und zuerst erkannt werden mußten.

Fig. 1a, b zeigt ein Grabenende wie es tatsächlich mit dem aus der EP-02 43 684 A1 bekannten Verfahren entsteht. Fig. 1a zeigt das Grabenende in der Draufsicht auf die Kathodenebene. Gemäß dem bekannten Verfahren wird eine Ätzmaske 1 (schraffierter Bereich) mit einem rechteckigen Maskenfenster 2 verwendet. Als Folge davon, wird die Maske beim anisotropen KOH-Ätzprozeß untergeätzt. Dies ist durch den punktierten Bereich 3 angedeutet.

Fig. 1b zeigt das Resultat des bekannten Ätzprozesses in perspektivischer Darstellung. Der in einen Si-Körper 4 eingätzte Graben hat als Längsseiten zwei vertikale Wände 5a, 5b und als Schmalseiten zwei kurze, nicht vertikale, rampenförmig geneigte Enden. In der Figur ist die eine der beiden nicht vertikalen Wände dargestellt und mit dem Bezugszeichen 6 identifiziert. Die Rampe hat einen Neigungswinkel von etwa 35° gegenüber der flachen Oberfläche (Kathodenebene 7) des Si-Körpers 4. Der Neigungswinkel ist durch die Kristallographie eindeutig vorgegeben und läßt sich damit exakt berechnen.

Das Hauptproblem dieser Grabenform besteht darin, daß die geneigte Wand 6 nur über eine kurze flache Kante 8 stufenlos in die Kathodenebene 7 übergeht. Eine vertikale Wand 9, die zu den längsseitigen vertikalen Wänden 5a, 5b nicht parallel ist, schafft eine unerwünschte Stufe entlang der rechtwinkligen Kante 10. Aus kristallographischen Gründen ist die rechtwinklige Kante 10 der Unterätzung (Fig. 1a) viel länger als die flache Kante 8 mit dem flachen Übergang.

Wenn es nun darum geht, eine Metallisierung bruchlos in den Graben zu führen, dann ist dies nur über die relativ kurze flache Kante 8 möglich. Wünschenswert wäre es aber, wenn der stufenlose Übergang auf der ganzen Breite des Grabenendes erfolgen könnte.

Ein weiteres Problem stellt der Boden 11 dar. Dieser geht nicht unter einem rechten Winkel in die Wände 5a, 5b über, sondern mit seitlichen Facetten 12a, 12b. Diese haben z. B. beim FCTh eine schwer kontrollierbare Verkrümmung des Kanals zur Folge. Es ist deshalb gut, wenn die Facetten 12a, 12b so klein wie möglich gehalten werden können.

Die Maßnahmen, die die Erfindung für die Lösung des Hauptproblems vorschlägt, bestehen im wesentlichen darin, die Maske statt mit rechteckigen Maskenfenstern mit solchen in der Form eines (nicht rechtwinkligen) Parallelogramms zu versehen. Für ein optimales Resultat sind bei der Orientierung resp. den Winkeln des Parallelogramms genau definierte Vorgaben einzuhalten.

Diese sollen anhand der Fig. 2 und 3 erklärt werden.

Fig. 2a zeigt eine Draufsicht auf die Kathodenebene 7 eines Wafers (Si-Körper 4). Der Wafer ist so geschnitten, daß die kristallographische  $\langle 110 \rangle$ -Ebene parallel zur Kathodenebene 7 (Oberfläche) ist. Um bei der Herstellung der Gräben die kristallographische  $\langle 1-11 \rangle$ - resp.  $\langle -11-1 \rangle$ -Ebene identifizieren zu können, ist der ansonsten runde Wafer im vorliegenden Beispiel mit einem flachen Anschliff 13 versehen.

Für das Ätzen des Grabens wird nun eine Ätzmaske mit einem Maskenfenster 14 auf die Kathodenebene 7 aufgebracht. Das Maskenfenster hat die Form eines Parallelogramms. Das lange Seitenpaar 15a, 15b des Parallelogramms, das zu vertikalen Wänden führen soll, ist parallel zu einer Schnittgeraden, die zwischen der  $\langle 110 \rangle$ -Ebene und einer der vier Ebenen  $\langle 1-11 \rangle$ ,  $\langle -11-1 \rangle$ ,  $\langle -111 \rangle$  oder  $\langle 1-1-1 \rangle$  gebildet wird. Bei der Verwendung des genannten Anschliffes 13 sind die Längsseiten also parallel zu diesem.

Das kurze Seitenpaar 16a, 16b des Parallelogramms, das zu nicht vertikalen Wänden führen soll, ist parallel zu einer Schnittgeraden ausgerichtet, die zwischen der  $\langle 111 \rangle$ -Ebene und der  $\langle 11-1 \rangle$ -Ebenen gebildet wird. Damit schließen die beiden Seitenpaare einen Winkel  $\alpha$  von etwa  $54^\circ$  ein. Auch dieser Winkel ist durch die Kristallographie fest vorgegeben.

Die anisotrope Ätzung führt zu folgender Geometrie:

Lange vertikale Wände:

$\langle 1-11 \rangle$  resp.  $\langle -11-1 \rangle$

kurze rampenförmige Wände:

$\langle 111 \rangle$  und  $\langle 11-1 \rangle$

Boden:

$\langle 110 \rangle$

Fig. 2b zeigt eine Alternative. Hier ist der Anschliff 13 parallel zur  $\langle 1-1-1 \rangle$ - resp.  $\langle -111 \rangle$ -Ebene. Dies hat zur Folge, daß die Maske gegenüber der Ausführungsform gemäß Fig. 2a spiegelverkehrt sein muß. Für den Winkel  $\alpha'$  zwischen Längs- und Kurzseiten des Parallelogramms gilt:  $\alpha' = 180^\circ - \alpha \approx 126^\circ$ . Im übrigen gilt das was zu Fig. 2a gesagt worden ist.

Fig. 3 zeigt eine Darstellung der erfindungswesentlichen Kristallrichtungen in der stereographischen  $\langle 110 \rangle$ -Projektion (positive Hemisphäre) eines flächenzentrierten kubischen Kristalls. In dieser Darstellung sind beide Richtungs-paare  $\langle 1-11 \rangle$  und  $\langle -111 \rangle$  resp.  $\langle 1-1-1 \rangle$  und  $\langle -111 \rangle$  auf der Peripherie des begrenzenden Großkreises. Die Schnittgeraden, welche jeweils die Seiten des Maskenfensters bilden, sind für die beiden Alternativen gestrichelt resp. strichpunktiert eingezeichnet.

Fig. 4 zeigt eine Darstellung eines gemäß der Erfindung hergestellten Grabens. Die zwischen den beiden längsseitigen, vertikalen Wänden 5a, 5b liegende geneigte Wand 6 ist nicht mehr durch eine auf der Schmalseite des Grabens liegende Stufe begrenzt. Vielmehr bildet sie eine lange flache Kante 8 mit der Kathodenebene. Die in Fig. 1b gezeigte unerwünschte vertikale Wand 9 und die scharfe, rechtwinklige Kante 10 haben in Fig. 4 keine Entsprechungen mehr. Die rampenförmige Wand 6 hat nun nicht mehr die komplizierte vieleckige Form von Fig. 1b, sondern im wesentlichen die eines Parallelogramms.

Die Erfindung erfaßt aber nicht nur die perfekte Ausgestaltung des Grabenendes, sondern auch die gegenüber dem Stand der Technik verbesserte. Wenn man nämlich erst erkannt hat, daß von den rechtwinkligen

Masken weggegangen werden muß, dann hat man das Werkzeug in der Hand, um die Länge der flachen Kante 8 in gewünschter Weise zu beeinflussen.

Es ist nämlich so, daß eine kleine Abweichung vom optimalen Winkel  $\alpha = 54^\circ$  bei der Maskenform zur Folge hat, daß an der spitzen Ecke 17 (Fig. 2a und Fig. 4) eine kleine Stufe auftritt, nur eben viel weniger ausgeprägt als beim Stand der Technik. Die Verkürzung der flachen Kante 8 ist aber so gering, daß sie nicht stark ins Gewicht fällt. Je stärker die Abweichung vom optimalen Winkel, desto stärker die Unterätzung und damit die Ausbildung der unerwünschten Stufe.

Wenn es darum geht, eine "Stromeinschnürung" des in einer Metallisierung über die flache Kante in den Graben fließenden Stroms zu vermeiden, dann genügt es im Prinzip, wenn die flache Kante mindestens so lang ist, wie die Breite des Grabens, d. h. wie der gegenseitige Abstand der vertikalen, längsseitigen Wände 5a, 5b.

Beim Vergleich der Fig. 1b und 4 sticht ein weiterer Unterschied ins Auge. Während beim bekannten Verfahren zwischen Boden 11 und Wänden 5a, 5b ausgeprägte Facetten 12a, 12b entstehen, sind solche Abschrägungen bei der Erfindung nahezu nicht vorhanden. Dies hat mit einer besonderen Ausgestaltung der anisotropen Ätzung zu tun, welche im folgenden beschrieben wird.

Der anisotrope Ätzprozeß wird vorzugsweise mit wäßriger KOH-Lösung durchgeführt, weil dadurch die Kompatibilität mit den übrigen Prozeßschritten zur Herstellung eines Halbleiterbauelements am besten gewährleistet ist. Es ist bekannt, daß KOH die  $\langle 111 \rangle$ -Ebenen (ohne Berücksichtigung der Vorzeichen) sozusagen nicht angreift, die  $\langle 110 \rangle$ -Ebenen dagegen sehr stark. Auf diesem Effekt beruht die Anisotropie der Ätzung.

Untersuchungen haben nun ergeben, daß die schrägen Facetten zwischen Boden und vertikalen Wänden im wesentlichen  $\langle 311 \rangle$ -Ebenen sind. Es konnte außerdem festgestellt werden, daß das Verhältnis der Ätzraten  $\langle 110 \rangle : \langle 311 \rangle$  von der Konzentration der KOH-Lösung und von der Ätzbadtemperatur abhängt. Mit dieser Erkenntnis ist es nun möglich, die Facetten zumindest näherungsweise zu eliminieren. Eine erste Maßnahme besteht nun darin, daß zum anisotropen Ätzen eine wäßrige KOH-Lösung mit kleinstmöglichem  $\langle 110 \rangle : \langle 311 \rangle$ -Ätzratenverhältnis verwendet wird. Es hat sich gezeigt, daß 8 m (Mol/Liter) KOH-Lösung diesbezüglich besonders gut ist. Eine zusätzliche Maßnahme kann darin bestehen, die Ätzung bei etwa  $90^\circ\text{C}$  durchzuführen.

Wenn die Ätzung auf diese Weise ausgeführt wird, dann sind auch die beim Stand der Technik auftretenden, unerwünschten Unebenheiten auf dem Boden des Grabens minimal. Das hat sich in praktischen Versuchen gezeigt.

Die folgende Tabelle soll einen Eindruck geben, wie das Ätzratenverhältnis von der KOH-Konzentration abhängt:

KOH-Konzentration	Ätzratenverhältnis $\langle 110 \rangle : \langle 311 \rangle$
2 m	3,67
4 m	1,68
6 m	1,33
8 m	1,27
10 m	1,48

Offenbar erfüllen Konzentrationen zwischen 6 m und 9 m oder etwas mehr im wesentlichen den erstrebten Zweck.

Die auf der positiven Hemisphäre liegenden  $\langle 311 \rangle$ -Ebenen (nämlich  $\langle 3-11 \rangle$ ,  $\langle 311 \rangle$ ,  $\langle 3-1-1 \rangle$  und  $\langle 31-1 \rangle$ ), die für die seitlichen Anstrahlungen des Grabenbodens verantwortlich sind, sind auch in Fig. 3 eingezeichnet.

Im folgenden werden zwei bevorzugte Ausführungsformen zur Herstellung von Gräben angegeben, bei welchen nach dem Ätzprozeß eine überhängende Ätzmaske zurückbleibt. Die Herstellung von überhängenden Masken kann auch unabhängig von den rampenförmig auslaufenden Gräben eingesetzt werden.

Als erstes wird anhand der Fig. 5a - d das Verfahren mit einer vorgeschalteten isotropen Ätzung beschrieben.

Zunächst wird der Si-Körper 4 mit einer  $\text{SiO}_2$ -Ätzmaske 18 bedeckt (Fig. 5a). Dann werden (z. B. auf photolithographische Weise) Maskenfenster 19a, 19b geöffnet (Fig. 5b). Diese sind mit Vorteil in der oben erläuterten Art ausgebildet (parallelogramm-förmig). Sie sind etwas kleiner als die zu fertigenden Gräben.

Gemäß dem wesentlichen Merkmal der vorliegenden Ausführungsform wird die Ätzmaske 18 nun isotrop untergeätzt (Fig. 5c). Der resultierende Überhang d wird über die Ätzdauer eingestellt und sollte zwischen 0,5 und 5  $\mu\text{m}$  liegen. Besonders bewährt hat sich bei den nachfolgenden selbstjustierenden Prozessen ein Überhang von etwa 2  $\mu\text{m}$ . Im Hinblick auf eine gute Reproduzierbarkeit sollte die isotrope Ätzmischung nicht zu schnell sein. Geeignete Ätzraten liegen bei 1  $\mu\text{m}/\text{min}$  und weniger.

Zuletzt folgt die anisotrope KOH-Ätzung (Fig. 5d). Sie greift am hintersten Punkt der Unterätzung an und erzeugt tiefe Gräben mit senkrechten Wänden ( $\langle 1-1-1 \rangle$  etc.) resp. geneigten Rampen ( $\langle 111 \rangle$ ,  $\langle 11-1 \rangle$ ) am schmalen Ende. Zwischen benachbarten Gräben bleibt eine im Querschnitt tischförmige Struktur zurück. Der Tischfuß wird dabei durch einen länglichen, schmalen Siliziumfinger und die Tischplatte durch die überhängende Ätzmaske aus  $\text{SiO}_2$  gebildet. In diese tischförmige Struktur werden in nachfolgenden, aus dem eingangs diskutierten Stand der Technik bekannten Prozessschritten Gate- und Kathodendiffusionen eingebracht und zwar unter Verwendung des erfindungsspezifischen Überhangs. Vorteilhaft ist es, wenn die  $\text{SiO}_2$ -Ätzmaske auch als Passivierungsschicht für das fertige Halbleiterbauelement verwendet wird.

Einen ganz anderen Weg zur Erzeugung von Gräben mit überhängenden Masken beschreitet das nun folgende Ausführungsbeispiel gemäß Fig. 6.

Der Si-Körper 4 wird zunächst mit einer Ätzmaske 18 und einer darauf abgeschiedenen zweiten Maske 20 bedeckt (Fig. 6a). Sodann wird die zweite Maske mit geeigneten Maskenöffnungen 21a, 21b versehen (Fig. 6b). Auch hier wird auf die erfindungsgemäße Form und Orientierung der Öffnung zurückgegriffen. Die Maskenöffnungen 21a, 21b ist außerdem um den gewünschten Überhang kleiner als der zu fertigende Graben.

Als drittes wird die zweite Maske 20 untergeätzt (Fig. 6c). Es wird dabei die Ätzmaske 18 und nicht der Si-Körper 4 geätzt. Auf diese Weise wird ein Überhang d der zweiten Maske 20 gegenüber der Ätzmaske 18 produziert.

Als letztes folgt wieder die anisotrope Ätzung (Fig. 6d). Die Breite des Grabens ist hier durch die Breite der Maskenfenster der Ätzmaske 18 gegeben. Auch hier bleibt zwischen benachbarten Gräben eine im

Querschnitt tischförmige Struktur zurück. Allerdings wird hier der Tischfuß sowohl durch einen länglichen, schmalen Siliziumfinger als auch durch die darauf aufgesetzte Ätzmaske gebildet. Die Tischplatte ist die überhängende zweite Maske.

Bei beiden Ätzverfahren gilt, daß sowohl der Überhang bei der isotropen Ätzung, als auch die Tiefe des Grabens bei der anisotropen Ätzung durch die Dauer des Ätzprozesses gegeben sind.

In den erfindungsgemäßen Verfahren eignen sich für die Ätzmaske und die zweite Maske insbesondere  $\text{SiO}_2$  oder Nitrid. Beim  $\text{SiO}_2$  kann es sich um thermisches Oxid oder um LTO (Low Temperature Oxide) handeln. Siliziumnitrid ( $\text{Si}_3\text{N}_4$ ) eignet sich besonders gut als Maskierung für sehr tiefe Ätzungen, da es von KOH äußerst schwach angegriffen wird (typischerweise 1  $\text{\AA}/\text{h}$ ).

Das neue Verfahren ist maßgeschneidert für die Herstellung von abschaltbaren Leistungs-Halbleiterbauelementen mit Langkanalstruktur. Dazu gehören z. B. der eingangs erwähnte FCTh von Horst Grüning et al. oder der feinstrukturierte GTO. Diese Bauelemente setzen sich wie erwähnt zusammen aus vielen parallel arbeitenden, kleinen, abschaltbaren Zellen.

Fig. 7 zeigt eine einzelne solche Zelle. Es handelt sich dabei um einen einzelnen Finger eines FCThs (vgl. EP 03 27 802). Er wird durch die zwischen benachbarten Gräben bestehende, tischförmige Struktur gebildet. Der Langkanal wird durch einen  $n^-$ -Bereich gebildet, der von zwei in die vertikalen Wände der Gräben eingebrachte  $p^-$ -Bereiche eingeschnürt werden kann. Die  $p^-$ -Bereiche können durch in die Grabenböden eindiffundierte  $p^+$ -Bereiche (Gatekontaktierung) angesteuert werden. Metallisierungen 22.1, 22.1 auf den Grabenböden 11.1, 11.2 schaffen die elektrische Verbindung zu äußeren Elektroden. Der Langkanal wird über einen  $n^+$ -Bereich (Kathodenkontaktierung) und eine Metallisierung 26 mit einer äußeren Kathodenelektrode verbunden.

Mit gestrichelten Linien ist die Ausdehnung der Raumladungszonen angedeutet. Wenn sich diese in der Mitte des Fingers treffen, ist die Zelle und damit auch das Bauelement abgeschaltet. Ein wichtiger Parameter der Zelle ist die Länge L des Langkanals 24. Wenn nun die seitlichen Facetten 12c, 12d zwischen Boden und vertikalen Wänden stark ausgeprägt sind, dann ist es schwierig bei der Herstellung die Länge L des Langkanals 4 zu kontrollieren. Sie entspricht dann nicht mehr einfach der Tiefe T des Grabens. Dadurch, daß die Erfindung einen Weg zur optimalen Unterdrückung dieser Anstrahlungen aufzeigt, wird somit die Berechenbarkeit und Reproduzierbarkeit des Bauelementes verbessert.

Fig. 8 zeigt das wesentliche Kennzeichen eines nach dem beschriebenen Ätzverfahren hergestellten FCTh. Im Gegensatz zum bekannten, nach dem EP-02 43 684 A1 gefertigten FCTh (siehe insbesondere die dortige Fig. 6b in Verbindung mit Fig. 1 der vorliegenden Anmeldung) ist das Grabenende spitz auslaufend. Die Gategräben 25.1, 25.2, 25.3 sind lange, dünne Schlitzte. Sie haben zwei lange vertikale und zwei kurze nicht vertikale Wände. Die Kanten, die von der Kathodenebene 7 mit je einer der vier Wände gebildet werden, bilden ein nicht rechtwinkliges Parallelogramm.

Die auf die Böden der Gategräben 25.1, 25.2, 25.3 aufgetragenen Metallisierungen 22.1, 22.2, 22.3 sind über die rampenförmig geneigten Wände 6.1, 6.2, 6.3 auf die Kathodenebene 7 hochgezogen (siehe Metallisierung 22 auf der Kathodenebene 7). In der Mitte der

Finger sind die Metallisierungen 26.1, 26.2 für die Kathode aufgebracht.

Von besonderer Bedeutung ist der breite, stufenlose Übergang zwischen Rampe und Kathodenebene bei jedem Grabenende.

Insgesamt gibt die Erfindung ein Verfahren zum Ätzen tiefer (ca. 40  $\mu\text{m}$ ), schmaler (ca. 20  $\mu\text{m}$ ) Gräben zwischen den Kathodenemittern eines feinstrukturierten Leistungs-Halbleiterbauelements an, das folgende Vorteile mit sich bringt:

1. Das Ätzverfahren ist rationell und gut reproduzierbar.
2. Die langen Grabenwände sind vertikal.
3. Am Grabenende verläuft die kurze Wand schräg und stufenlos vom Grabenboden zur Oberfläche.
4. Es kann eine gezielte und reproduzierbare Versetzung der vertikalen Grabenwände unter die jeweilige Maskenkante erzeugt werden.
5. Die geätzten Siliziumoberflächen sind nicht kontaminiert.
6. Die Toleranzen der Unterätzung und der Grabenform sind vorteilhaft klein.
7. Es werden verhältnismäßig wenig Kristallfehler erzeugt.

Es versteht sich, daß die Erfindung nicht auf die beschriebenen Ausführungsformen beschränkt ist. Insbesondere läßt sich das Verfahren auch für andere als die erwähnten Bauelemente verwenden.

#### Bezeichnungsliste

- 1 Ätzmaske;
- 2 Maskenfenster;
- 3 ungeätzter Bereich;
- 4 Si-Körper;
- 5a, 5b vertikale Wand;
- 6, 6.1, ..., 6.3 geneigte Wand;
- 7 Kathodenebene;
- 8 flache Kante;
- 9 vertikale Wand;
- 10 rechtwinklige Kante;
- 11 Boden;
- 12a, ..., 12d Facetten;
- 13 Anschliff;
- 14 Maskenfenster;
- 15a, 15b langes Seitenpaar;
- 16a, 16b kurzes Seitenpaar;
- 17 spitze Ecke;
- 18 Ätzmaske;
- 19a, 19b Maskenfenster;
- 20 zweite Maske;
- 21a, 21b Maskenöffnung;
- 22.1, ..., 22.3, 23 Metallisierung;
- 24 Langkanal;
- 25.1, ..., 25.3 Gategräben;
- 26, 26.1, 26.2 Metallisierung.

#### Patentansprüche

1. Verfahren zum Herstellen von Gräben in einem einkristallinen Si-Körper (4), wobei auf einer  $\langle 110 \rangle$ -Oberfläche des Si-Körpers (4) eine Ätzmaske (18) mit mindestens einem Maskenfenster (14; 19a, 19b) aufgebracht wird und mit einem anisotropen Ätzprozeß ein Graben mit mindestens einer vertikalen (5a, 5b) und mindestens einer nicht

vertikalen, geneigten Wand (6) geätzt wird, dadurch gekennzeichnet, daß das Maskenfenster (14; 19a, 19b) die Form eines nicht rechtwinkligen Parallelogramms hat.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß das Maskenfenster (14; 19a, 19b) mit dem Seitenpaar des Parallelogramms, das zu vertikalen Wänden (5a, 5b) führen soll, parallel zu einer Schnittgeraden ausgerichtet ist, die zwischen der  $\langle 110 \rangle$ -Ebene und einer der vier Ebenen  $\langle 1-11 \rangle$ ,  $\langle -11-1 \rangle$ ,  $\langle -111 \rangle$  oder  $\langle 1-1-1 \rangle$  gebildet wird.

3. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß das Maskenfenster (14; 19a, 19b) mit dem Seitenpaar des Parallelogramms, das zu nicht vertikalen, geneigten Wänden (6, 6.1, 6.2, 6.3) führen soll, parallel zu einer Schnittgeraden ausgerichtet ist, die zwischen der  $\langle 110 \rangle$ -Ebene und der  $\langle 111 \rangle$ -Ebene resp. der  $\langle 1\bar{1}\bar{1} \rangle$ -Ebene gebildet wird.

4. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß das Maskenfenster (14; 19a, 19b) so ausgerichtet ist, daß das lange Seitenpaar des Parallelogramms zu vertikalen und das kurze Seitenpaar zu nicht vertikalen Wänden (5a, 5b resp. 6, 6.1, 6.2, 6.3) führt.

5. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß zum anisotropen Ätzen eine wäßrige KOH-Lösung mit kleinstmöglichem  $\langle 110 \rangle : \langle 311 \rangle$ -Ätzratenverhältnis verwendet wird, insbesondere daß eine 6-9 Mol/Liter KOH-Lösung bei vorzugsweise 90° C verwendet wird.

6. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß zum Erzeugen einer überhängenden Maske vor der anisotropen Ätzung eine isotrope Unterätzung der Ätzmaske (18) durchgeführt wird.

7. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß zum Erzeugen einer überhängenden Maske

- a) auf die Ätzmaske (18) eine zweite Maske (20) aufgebracht wird,
- b) die zweite Maske (20) mit einer geeigneten Maskenöffnung (21a, 21b) versehen wird,
- c) durch die Maskenöffnung (21a, 21b) das Maskenfenster (14; 19a, 19b) der Ätzmaske (18) so erzeugt wird, daß die zweite Maske (20) bezüglich des Maskenfensters (14; 19a, 19b) überhängend ist und
- d) dann die anisotrope Ätzung der Gräben durchgeführt wird.

8. Verfahren nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, daß für die Ätzmaske  $\text{SiO}_2$  oder Nitrid verwendet wird.

9. Verfahren nach einem der Ansprüche 6 oder 7, dadurch gekennzeichnet, daß ein Überhang (d) der Maske von 0,5–5  $\mu\text{m}$ , vorzugsweise von 2  $\mu\text{m}$ , erzeugt wird.

10. FcTh hergestellt nach einem Verfahren gemäß Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß Gategräben (25.1, 25.2, 25.3) in Form langer dünner Schlitzte vorgesehen sind, die zwei lange vertikale und zwei kurze nicht vertikale Wände haben, und daß die Kanten, die von der Kathodenebene mit je einer der vier Wände gebildet werden, ein nicht rechtwinkliges Parallelogramm bilden.

Hierzu 8 Seite(n) Zeichnungen



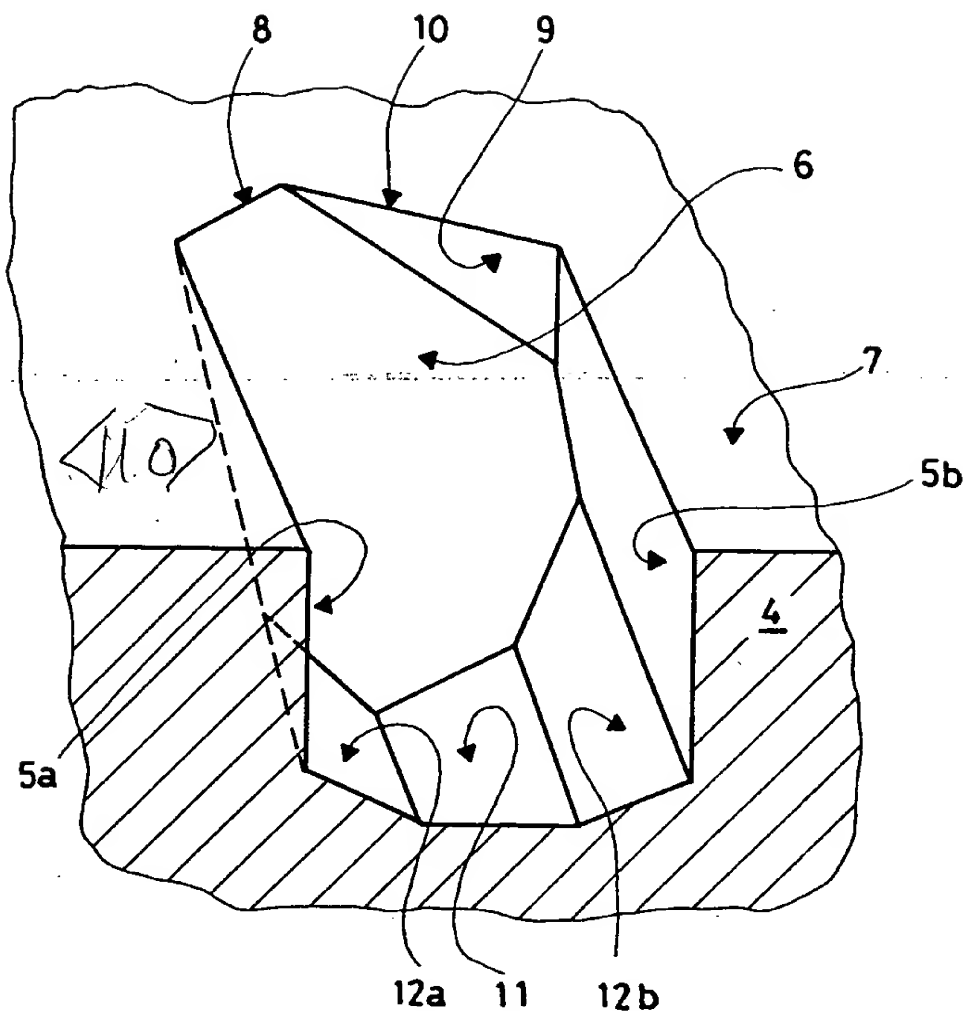


FIG. 1b

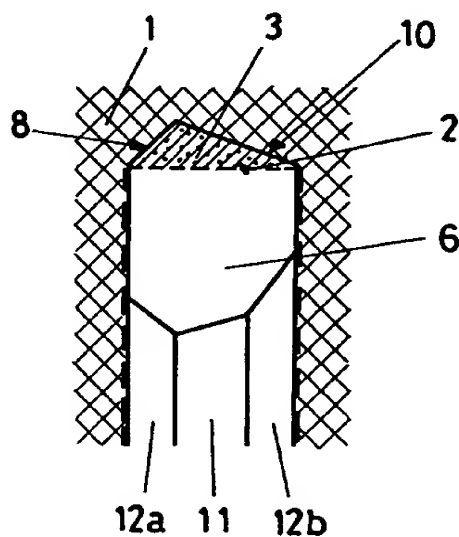


FIG. 1a

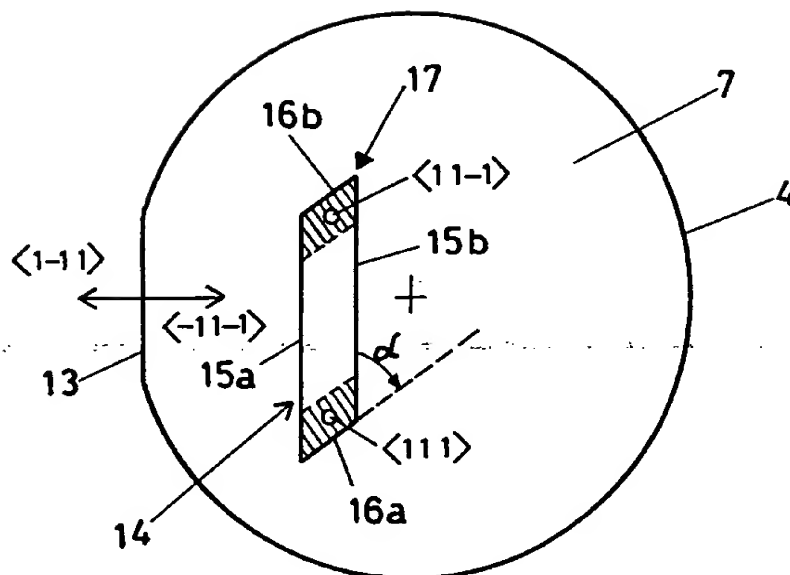


FIG. 2a

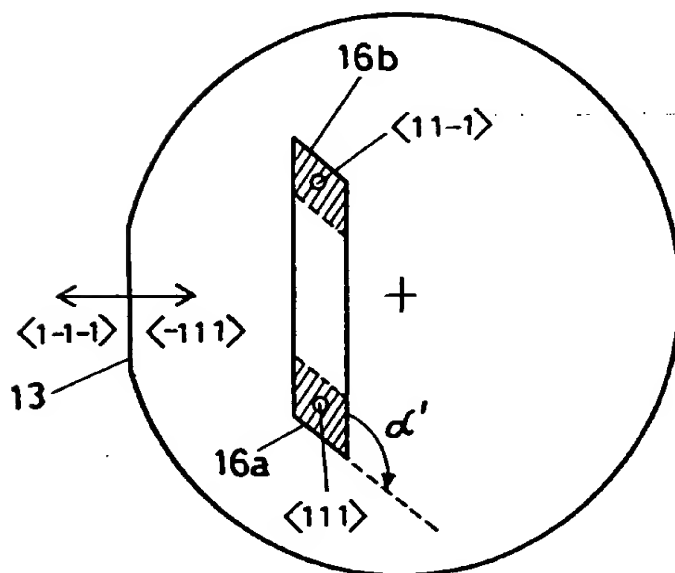


FIG. 2b

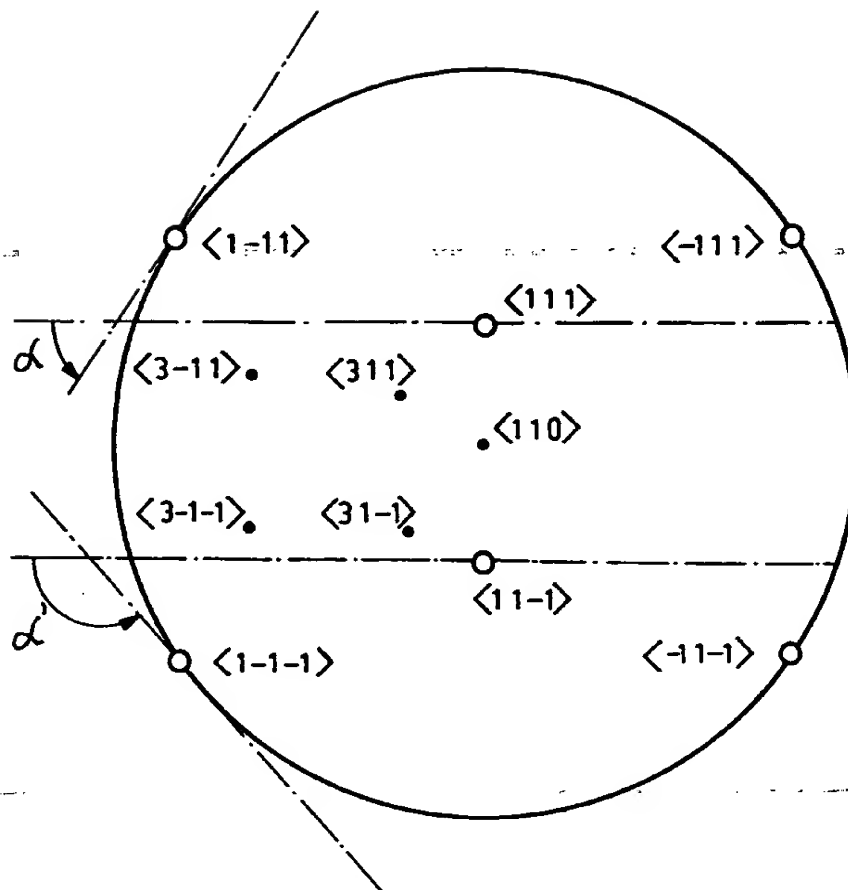


FIG.3

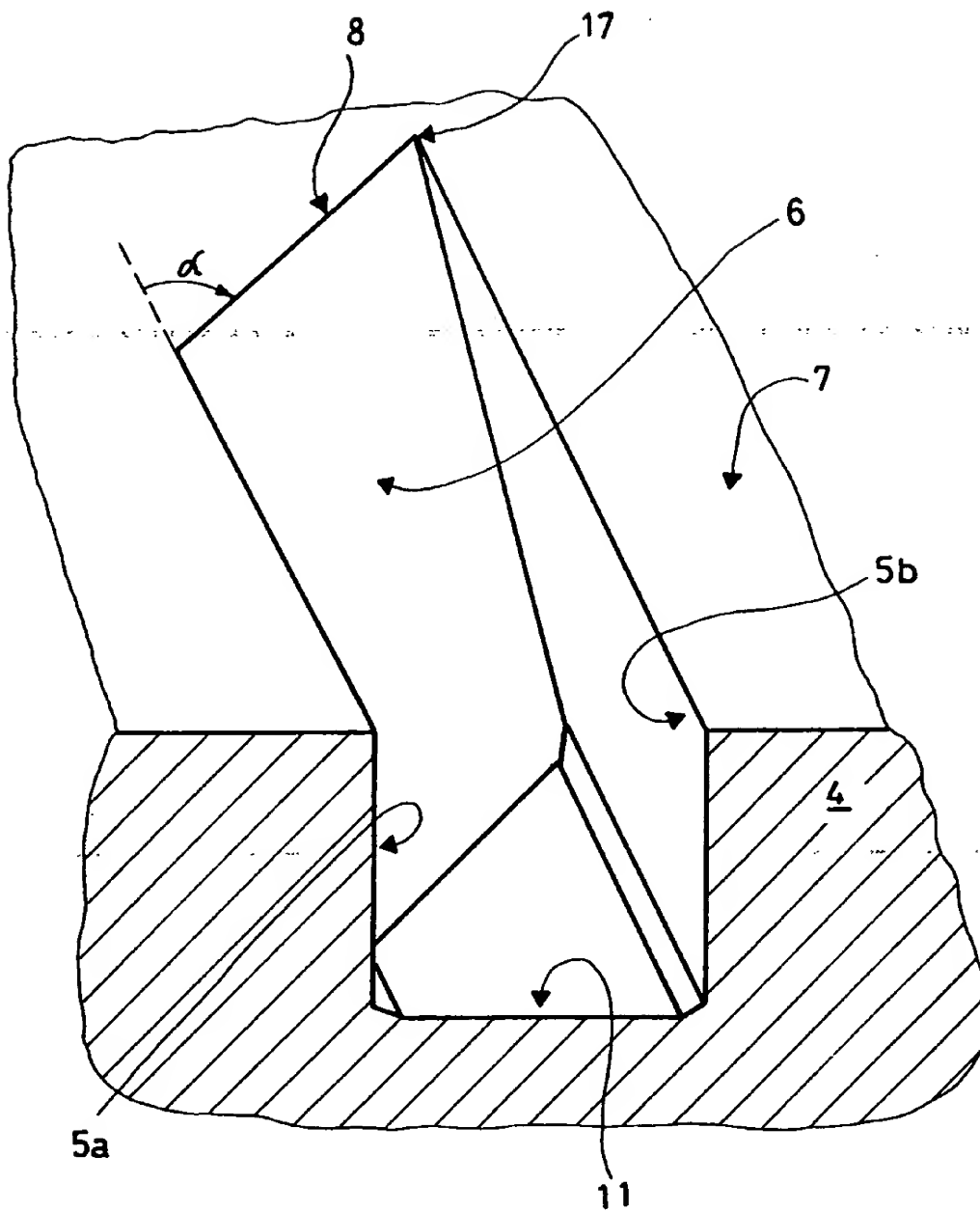
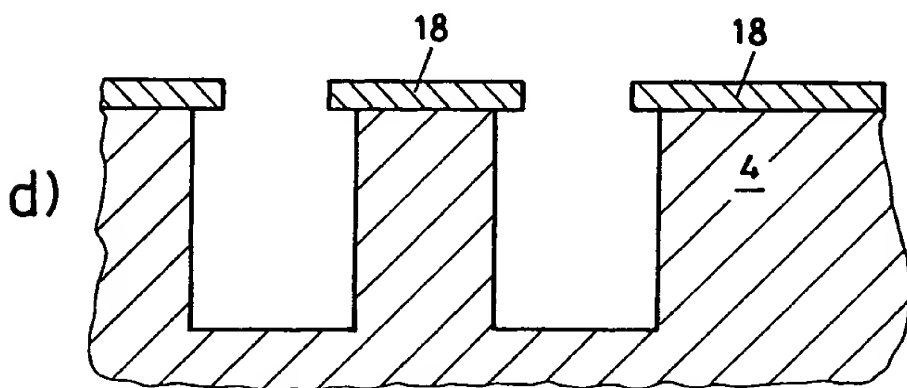
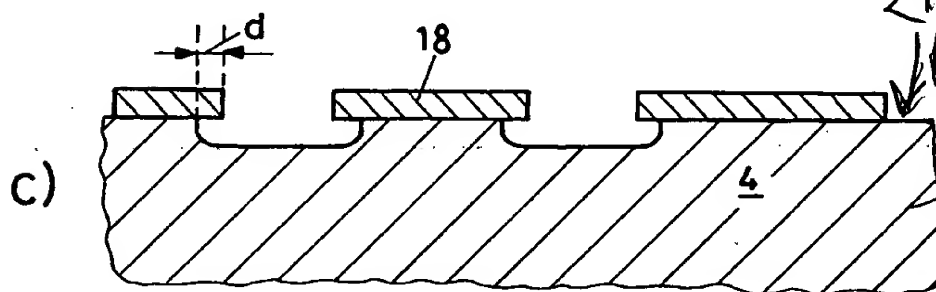
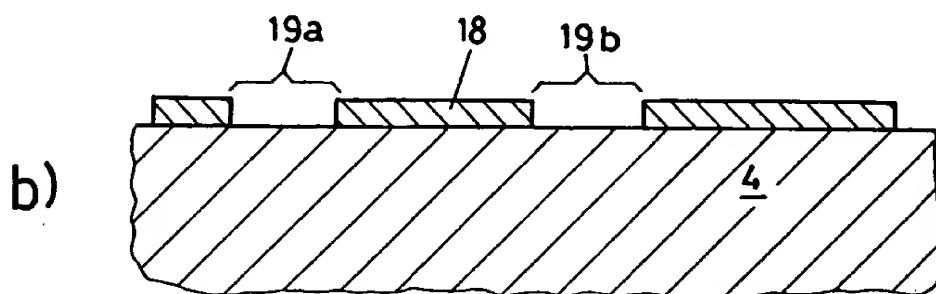
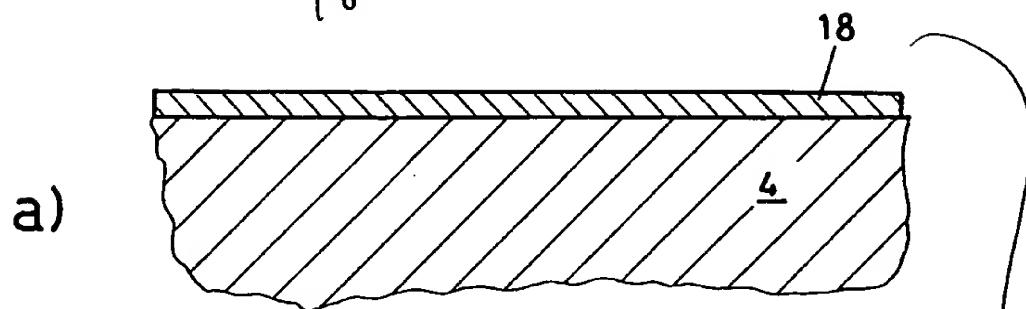


FIG.4

$4 = ?$   
 $18 = ?$



isotropic etch?

anisotropic etch?

FIG.5

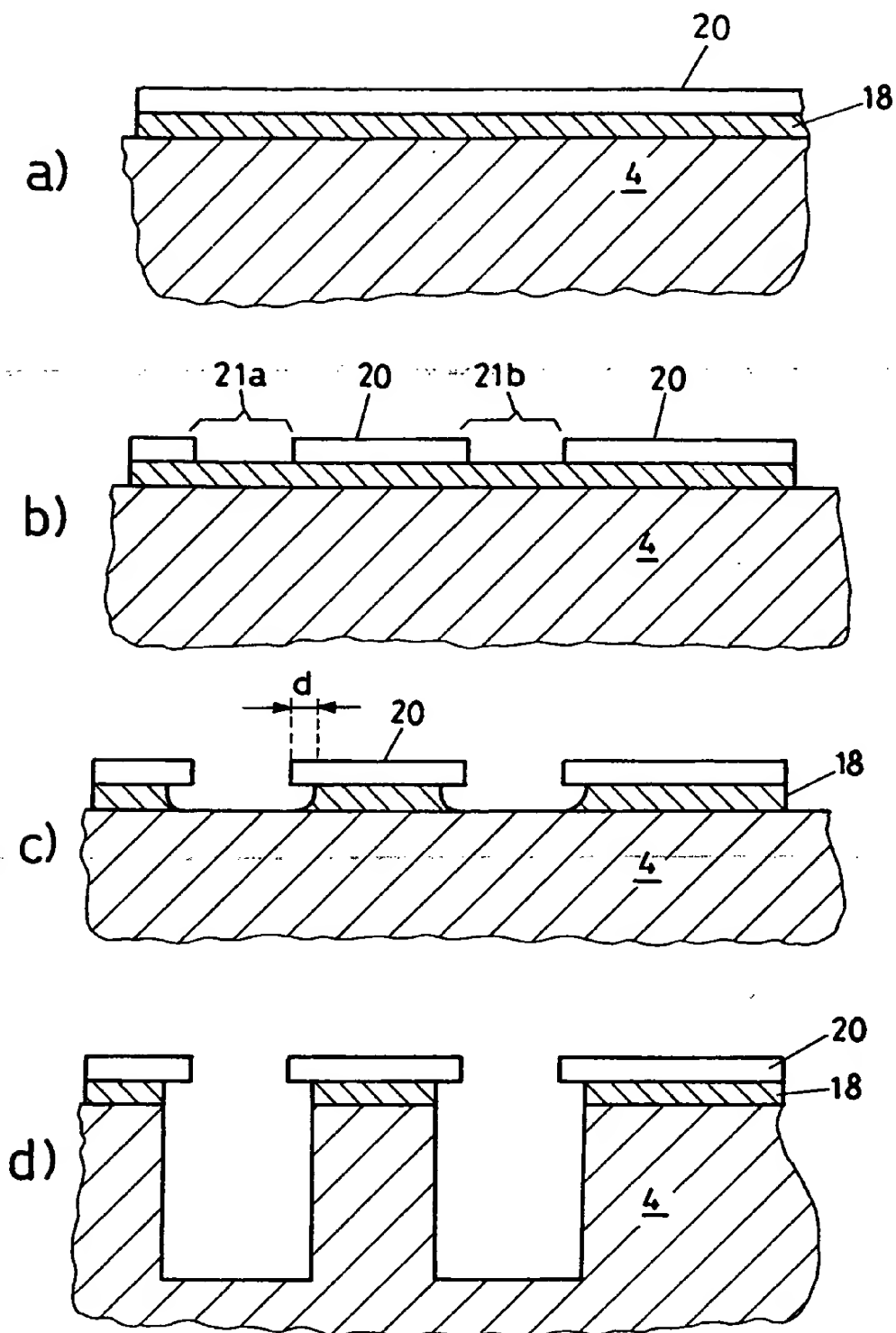


FIG. 6

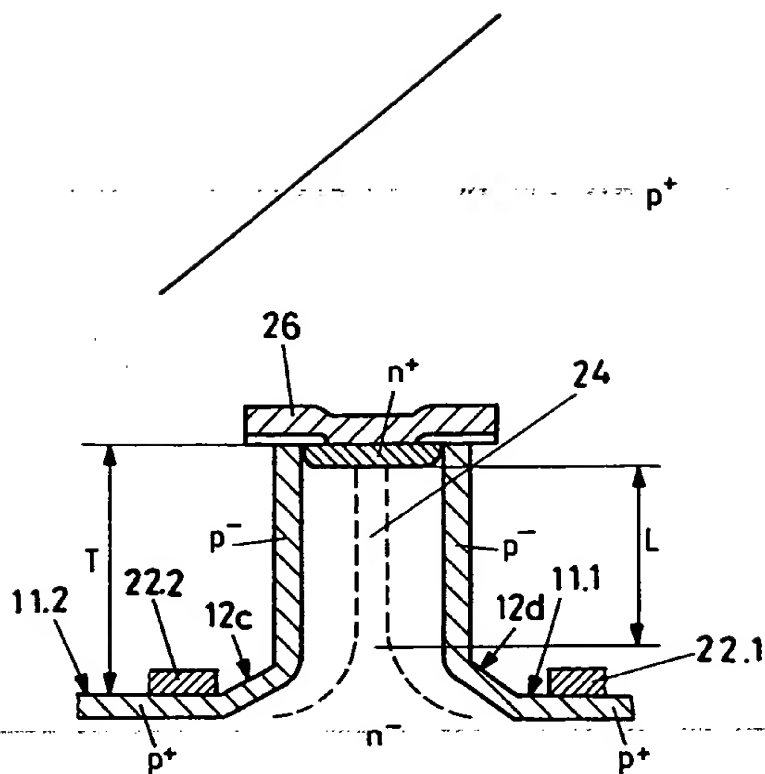


FIG.7

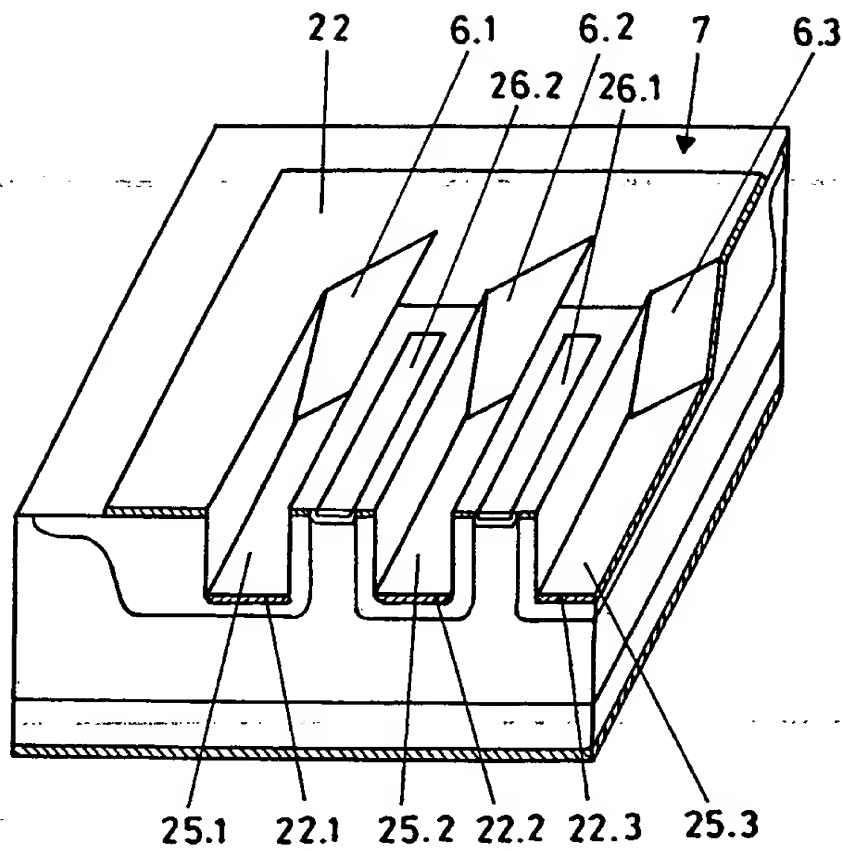


FIG. 8